

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
25. April 2002 (25.04.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/33455 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G02B 6/00**

[DE/DE]; Pohlweg 34, 33098 Paderborn (DE). **BIERHOFF, Thomas** [DE/DE]; Lütersheimer Str. 22, 34471 Volkmarsen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE01/03962**

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum: 17. Oktober 2001 (17.10.2001)

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): JP, US.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
100 51 405.7 17. Oktober 2000 (17.10.2000) DE

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

— hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten JP, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR)

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

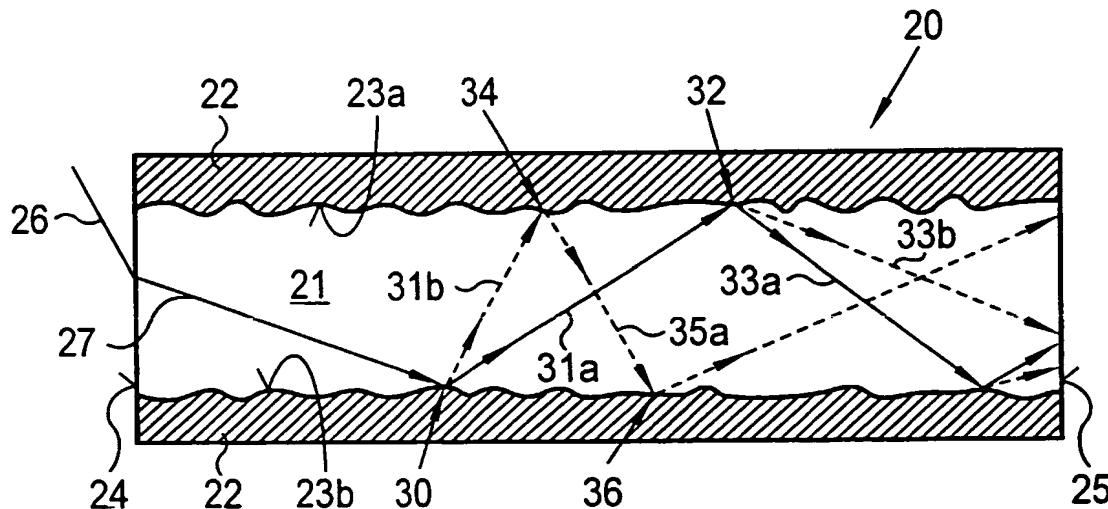
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): **HIMMLER, Andreas**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: RAY TRACING IN HIGHLY MULTIMODAL CHANNEL WAVEGUIDES

(54) Bezeichnung: STRAHLVERFOLGUNG IN HOCH MULTIMODALEN KANALWELLENLEITERN



**WO 02/33455 A2**

(57) Abstract: The invention relates to a method for computationally determining optical properties of a channel waveguide, according to which, for an incident ray entering an entrance surface, the distribution of intensity over an emergence surface is determined by adjoined partial rays that possibly split up. From an incident partial ray striking the outer surface, a predetermined algorithm determines a reflected main ray and, in so far as it is necessary according to the ensuing course of events, determines a number of scattered rays of a higher order, which depict partial rays and are recursively traced further. Each partial ray is either a primary ray or a secondary ray. When the incident partial ray is a primary ray, the reflected main ray is a primary ray once again, and the scattered rays are secondary rays. During the reflection of a secondary ray, only the reflected main ray is considered as the secondary ray.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

---

**(57) Zusammenfassung:** Verfahren zur rechnerischen Bestimmung optischer Eigenschaften eines Kanalwellenleiters, bei dem für einen in eine Eintrittsfläche einfallenden Strahl die Intensitätsverteilung über eine Austrittsfläche durch aneinander anschließende, sich möglicherweise aufteilende Teilstrahlen bestimmt wird. Aus einem auf die Mantelfläche fallenden Teilstrahl wird durch einen vorgegebenen Algorithmus ein reflektierter Hauptstrahl und, sofern nach dem folgenden Ablauf erforderlich, eine Anzahl von Streustrahlen höherer Ordnung bestimmt, die ihrerseits Teilstrahlen darstellen und rekursiv weiterverfolgt werden. Jeder Teilstrahl ist entweder ein Primärstrahl oder ein Sekundärstrahl. Wenn der einfallende Teilstrahl ein Primärstrahl ist, ist der reflektierte Hauptstrahl wieder ein Primärstrahl und die Streustrahlen sind Sekundärstrahlen. Bei der Reflexion eines Sekundärstrahls wird nur der reflektierte Hauptstrahl als Sekundärstrahl berücksichtigt.

**Beschreibung****Strahlverfolgung in hoch multimodalen Kanalwellenleitern****Technisches Gebiet**

- 5 Die Erfindung betrifft die Strahlverfolgung in hoch multimodalen Kanalwellenleitern.

**Stand der Technik**

Zur Berechnung der Strahlausbreitung in dielektrischen Kanalwellenleitern, insbesondere Lichtleitern, stehen bislang wellenoptische Analysemethoden wie die Methode der finiten Elemente (FEM) oder die 'Beam Propagation Method' (BPM) zur Verfügung. Diese sind jedoch nur dann effizient einsetzbar, wenn nur eine oder wenige Moden zu berücksichtigen sind und der Querschnitt der Wellenleiter, bezogen auf die optische Wellenlänge, nicht allzu groß ist.

Für multimodale Stufenindex-Wellenleiter, bei denen der Querschnitt wesentlich größer als die Wellenlänge der verwendeten Strahlung ist, sind hingegen Strahlverfolgungen auf der Basis geometrischer Optik effizient möglich.

Hierbei wird (in der Simulation) ein einzelner Strahl vorgegebener Richtung und Polarisation in den Wellenleiter eingekoppelt. Dieser tritt entweder direkt am Ende des Wellenleiters aus oder wird an der Wand des optischen Kanals, d.h. der Grenzfläche des Indexsprungs, gebrochen.

Dabei teilt sich die eintreffende Strahlung in Komponenten auf: einen reflektierten Hauptstrahl, einen transmittierten Hauptstrahl, eine Anzahl von reflektierten Streustrahlen und eine Anzahl von transmittierten Streustrahlen. Die transmittierten Anteile sind für die weitere Strahlverfolgung ohne

Belang; lediglich ihr Energieanteil geht den reflektierten Strahlen verloren.

Eine einfache Simulation berücksichtigt lediglich den reflektierten Hauptstrahl, d.h. die Reflexion nullter Ordnung, und verfolgt dessen weitere Reflexion bis zur Austrittsfläche. Damit kann durch individuelle Verfolgung einer größeren Anzahl von Strahlen, die der Charakteristik des Senders entsprechen, das Strahlenbündel am Ausgang des Wellenleiters bestimmt werden. Diese Methode ist ausreichend, wenn die Reflexionen nahezu ideal sind, weil die Wandung sehr glatt ist.

Ist jedoch die Wandung nicht glatt, so führt die genannte Methode zu Ergebnissen, die entsprechenden Messungen nur schlecht entsprechen. Die Berücksichtigung der reflektierten Streustrahlung jedoch führt zu einem Rechenaufwand, der exponentiell mit der Anzahl der Reflexionen steigt.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Methode anzugeben, bei der auch die Streustrahlung berücksichtigt wird, dessen Rechenaufwand aber allenfalls quadratisch mit der Anzahl der Reflexionen steigt.

Die Erfindung löst diese Aufgabe, indem sie zwischen Primär- und Sekundärstrahlen unterscheidet und bei Sekundärstrahlen nur noch Reflexionen nullter Ordnung berücksichtigt.

Es handelt sich um ein Verfahren zur rechnerischen Bestimmung optischer Eigenschaften eines Kanalwellenleiters, bei dem für einen in eine Eintrittsfläche einfallenden Strahl die Intensitätsverteilung über eine Austrittsfläche durch aneinander anschließende, sich möglicherweise aufteilende Teilstrahlen bestimmt wird. Aus einem auf die Mantelfläche fallenden Teilstrahl wird durch einen vorgegebenen Algorithmus eine reflektierter Hauptstrahl und, sofern nach dem folgenden Ablauf erforderlich, eine Anzahl von Streustrahlen höherer Ordnung bestimmt, die ihrerseits Teilstrahlen darstellen und rekursiv

weiterverfolgt werden. Jeder Teilstrahl ist entweder ein Primärstrahl oder ein Sekundärstrahl. Wenn der einfallende Teilstrahl ein Primärstrahl ist, ist der reflektierte Hauptstrahl wieder ein Primärstrahl und die Streustrahlen sind Sekundärstrahlen. Bei der Reflexion eines Sekundärstrahls wird nur der reflektierte Hauptstrahl als Sekundärstrahl berücksichtigt.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnungen

Es zeigen

10 Fig. 1 eine zweidimensionale Darstellung eines Modells der Strahlverfolgung bei einem Kanalwellenleiter mit rauher Oberfläche,

Fig. 2 eine zweidimensionale Darstellung, reduziert auf die in der Erfindung verwendeten Teilstrahlen.

#### 15 Beschreibung einer Ausführungsform der Erfindung

Fig. 1 zeigt eine zweidimensionale Darstellung zur Erläuterung des bisher verwendeten Verfahrens, wie es in dem Artikel "An Efficient Monte Carlo Based Ray Tracing Technique for the Characterization of Highly Multimode Dielectric Waveguides with Rough Surfaces" von Th. Bierhoff et al., Proc. 30th European Microwave Conference, Vol.1 pp 378-381, Paris, 3rd-5th October 2000, beschrieben ist.

In Fig. 1 ist ein Längsschnitt durch einen Kanalwellenleiter skizziert, der einen Kern 21 und eine Umhüllung 22, auch als 'cladding' bezeichnet, hat. Der (nicht gezeigte) Querschnitt kann rund oder rechteckig sein. Andere Querschnitte sind gleichfalls verwendbar, aber weniger praktisch in der Herstellung. Es handelt sich um einen Stufenindex-Wellenleiter, weil ein relativ scharfer Übergang zwischen dem Kern 21 und der Umhüllung 22 vorhanden ist, so daß eine Stufe

im Brechungsindex entsteht, wobei bekanntermaßen der Brechungsindex des Kerns 21 größer ist als der der Umhüllung 22. Dadurch entstehen Grenzflächen 23a und 23b, an denen ein Strahl im Kern 21, der auf die Grenzfläche trifft, reflektiert wird. Die Grenzflächen sind hier gewellt dargestellt, um anzudeuten, daß eine Oberflächenrauhigkeit von Bedeutung ist; in dem behandelten Verfahren werden sie jedoch zunächst als Ebenen oder sonstige einfach, insbesondere analytisch zu beschreibende Flächen angenommen.

10

Der Kanalwellenleiter hat eine Eintrittsfläche 24 und eine Austrittsfläche 25. In die Eintrittsfläche 24 fällt ein (Licht-) Strahl 26, der an der Eintrittsfläche 24 gebrochen wird und als Eingangsstrahl 27 fortgesetzt wird. Ob und wie groß die Brechung ist, hängt von der Art und dem Medium der Ankopplung ab; für das weitere Vorgehen ist lediglich der Eingangsstrahl 27 von Bedeutung. Dieser erreicht die Grenzfläche 23b an einem ersten Reflexionspunkt 30 und wird dort gebrochen und reflektiert.

20

Die Berechnung eines solchen Strahlengangs mit den Mitteln der geometrischen Optik ist weithin bekannt. Hat der Kanalwellenleiter rechteckigen Querschnitt, dann sind die Grenzflächen 23a, 23b wiederum rechteckig, so daß bei gegebener Gerade für den Eingangsstrahl 27 der Schnittpunkt der Geraden mit einer der Grenzflächen, hier der Grenzfläche 23b, mit den bekannten Methoden der analytischen Geometrie bestimmt werden kann. Ist der Querschnitt rund, so ist die Grenzfläche 23a, 23b ein Zylinder, zu dem der Schnittpunkt auch noch einfach berechnet werden kann. Gegebenenfalls muß bei ungewöhnlichen oder variablen Querschnitten auf iterative numerische Methoden zurückgegriffen werden.

35 Die Fortsetzung des am ersten Reflexionspunkt 30 eintreffenden Eingangsstrahls 30 richtet sich nach den Parametern der Simulation. Danach wird die Intensität und die Richtung des direkt reflektierten Strahls 31a bestimmt. Die Richtung rich-

tet sich nach der Tangente der idealisierten Grenzfläche 23b, die als rauh angesehen wird. Ferner werden diffuse Streustrahlen bestimmt, die in Fig. 2 durch einen einzigen Streustrahl 31b repräsentiert werden. Hierbei wird ein Raumwinkel, 5 in dem Streustrahlung kontinuierlich vorhanden ist, zu einem einzigen Strahl in der Modellierung zusammengefaßt. Der Streustrahl 31b repräsentiert damit die Streustrahlung in einem gegebenen Raumwinkel, die durch eine ebene Welle mit definierter Polarisation transportiert wird; für benachbarte 10 Raumwinkel werden entsprechend weitere Streustrahlen bestimmt, die auf gleiche Art weiter behandelt werden, aber der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt sind. Gleichfalls angedeutet durch Pfeile sind ein gebrochener Primärstrahl und ein gebrochener Streustrahl. Deren weiterer Weg ist ohne Bedeutung; lediglich ist festzuhalten, daß die Summe aller Intensitäten gleich der des eintreffenden Eingangsstrahls 27 sein muß.

Der direkt reflektierte Hauptstrahl 31a trifft an der Stelle 20 32 wieder auf eine Grenzfläche, hier die Grenzfläche 23a, und wird dort zu einem reflektierten Hauptstrahl 33a und mehreren reflektierten Nebenstrahlen 33b, von denen wieder nur einer dargestellt ist. Die transmittierten Strahlen werden wieder nur ihrem Anteil nach berücksichtigt.

25 Entsprechend trifft der reflektierte Streustrahl an der Stelle 36 auf die Grenzfläche 23b und ergibt einen Hauptstrahl und mehrere Streustrahlen.

30 Ersichtlich ist dieses Verhalten von der Struktur durch rekursive Verfahren relativ einfach programmierbar. Es ist jedoch auch sofort ersichtlich, daß insbesondere bei mehreren Streustrahlen die Anzahl der Strahlen exponentiell steigt. Dabei werden Strahlen, deren Intensität unter einer vorgegebenen Schwelle liegen, natürlich nicht weiter berücksichtigt. 35 Man muß jedoch feststellen, daß entweder die Schwelle so hoch

liegt, daß die Ergebnisse nicht gut genug sind, oder zuviel Rechenzeit benötigt wird.

In dem genannten Artikel wird daher vorgeschlagen, die Komplexität durch Anwendung der Monte-Carlo-Methode zu reduzieren. Diese allgemein bekannte Methode wählt durch einen Zufallsmechanismus einen der Streustrahlen aus und ignoriert die anderen. Es ergab sich zwar eine Reduktion der Rechenzeit, aber insgesamt noch keine einfache, schnelle und problemlos benutzbare Lösung.

Durch die Erfindung kann auf die Monte-Carlo-Methode verzichtet werden und ein wesentlich besseres Ergebnis in Relation zum Rechenaufwand erreicht werden. Dabei werden alle nach dem Modell der Reflexion entstehenden Streustrahlen weiterverfolgt und nicht nur einige zufällig ausgewählte. Für diese Streustrahlen jedoch wird bei nachfolgenden Reflexionen nur noch der Hauptstrahl berücksichtigt. Dabei wird jedesmal das Modell der Reflexion berechnet, um die Intensität des Hauptstrahls zu ermitteln; es wird also nicht unbedingt ein einfaches Spiegelmodell für diese Nebenstrahlen eingesetzt, obwohl dies auch möglich ist.

Dies wird erreicht, indem zu jedem zu verfolgenden Strahl zusätzlich ein Generationsindex mitgeführt wird, der angibt, ob es sich um einen Primärstrahl oder einen Sekundärstrahl handelt. Bevorzugt wird hierzu eine ganze Zahl benutzt, die Null für einen Primärstrahl und größer Null für einen Sekundärstrahl ist.

30

Dies ist in Fig. 2 skizziert. Die transmittierten Anteile wurden ohnehin nicht mehr dargestellt. Aber auch die von dem sekundären Streustrahl 31b bewirkten sekundären Streustrahlen werden gar nicht mehr weiterverfolgt. Hingegen wird der sekundäre Teilstrahl 33b als von einem primären Teilstrahl 31a bei der Reflexion 32 ausgehend weiterhin berücksichtigt.

- Bei der einfachen, bislang beschriebenen Ausführung wird lediglich ein binärer Generationsindex benutzt bzw. nur zwischen Primär- und Sekundärstrahlen unterschieden. Es ist jedoch auch möglich, die Simulation zu verbessern, indem der
- 5 Generationsindex als ganze Zahl ausgenutzt wird. Dabei bleibt der Generationsindex bei dem Hauptstrahl einer Reflexion, d.h. der Reflexion nullter Ordnung, gleich. Bei Streustrahlen, d.h. Reflexionen höherer Ordnung, wird die Ordnungsnummer zu dem Generationsindex addiert. Ob ein Strahl weiterver-
- 10 folgt wird, wird dann über einen Schwellwert für den Generationsindex entschieden. In dem oben genannten einfachen Beispiel werden überhaupt nur Reflexionen erster Ordnung berücksichtigt, und der Schwellwert ist Eins.
- 15 Durch den Gewinn an Effizienz konnte bei der Reflexion auch die Polarisation berücksichtigt werden, was bei der aufgeführten Monte-Carlo-Methode ignoriert werden mußte.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur rechnerischen Bestimmung optischer Eigen-  
schaften eines Kanalwellenleiters (20) mit einer Mantel-  
fläche, wobei für einen in eine Eintrittsfläche (24) ein-  
fallenden Strahl (27) die resultierende Strahlverteilung  
5 über eine Austrittsfläche (25) bestimmt wird, mit den  
Merkmalen:

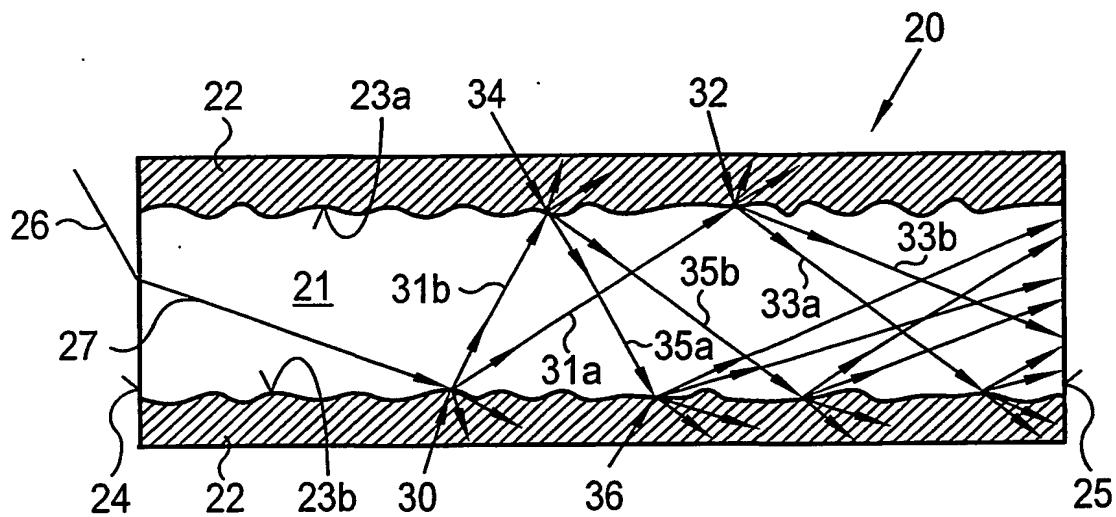
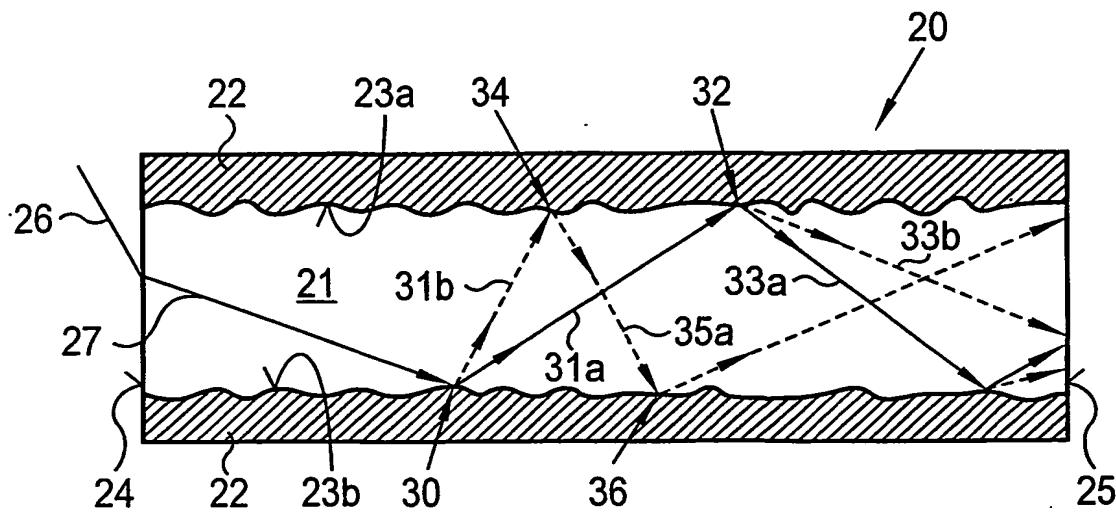
- zu einem auf die Mantelfläche (23a, 23b) fallenden  
Teilstrahl (31a, 31b, 33a, 33b, 35a, 35b) wird ein re-  
10 flektierter Hauptstrahl (31a, 33a, 35a) der Ordnungs-  
zahl Null und, sofern nach dem folgenden Ablauf erfor-  
derlich, eine Anzahl von Streustrahlen (31b, 33b, 35b)  
mit einer Ordnungszahl größer Null bestimmt, die ih-  
rerseits Teilstrahlen darstellen und rekursiv weiter-  
15 verfolgt werden, wobei der einfallende Strahl (27) der  
erste Teilstrahl ist,

dadurch gekennzeichnet, daß

- jedem Teilstrahl ein Generationsindex zugeordnet ist,  
- der einfallende Strahl den Generationsindex Null hat,  
20 - bei der Reflexion der Generationsindex eines reflek-  
tierten Teilstrahls gleich dem um die Ordnungszahl der  
Reflexion erhöhten Generationsindex des einfallenden  
Teilstrahls ist,  
- nur solche Teilstrahlen weiterverfolgt werden, deren  
25 Generationsindex eine vorgegebene Schranke nicht über-  
schreitet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die vorgegebene Schranke  
gleich Eins ist und bei der Berechnung der Reflexion al-  
lenfalls nur Streustrahlen der Ordnungszahl Eins anfal-  
30 len.

1/1

**FIG 1****FIG 2**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG



(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
25. April 2002 (25.04.2002)

PCT

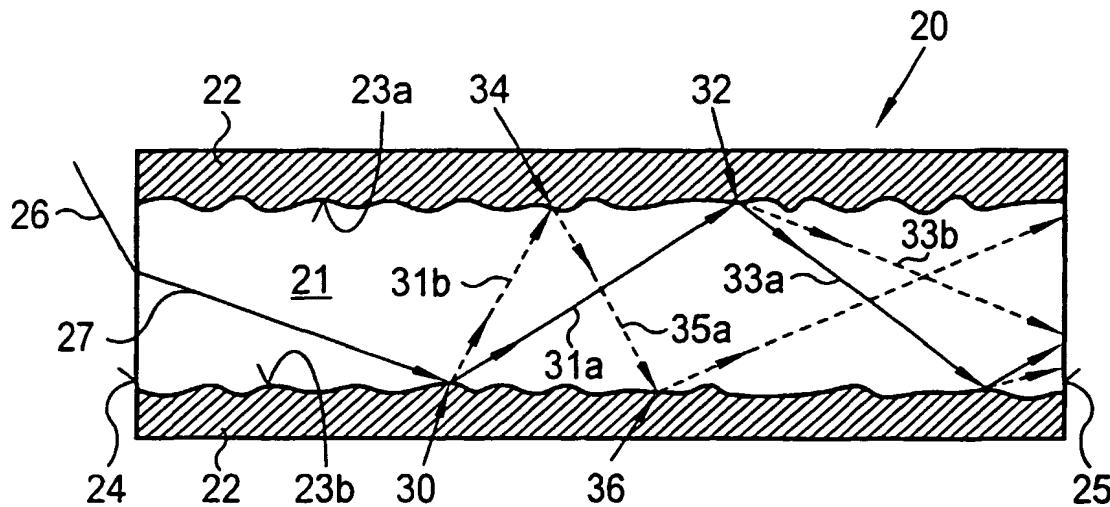
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/033455 A3**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G02B 6/10**, H04B 10/13
- (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HIMMLER, Andreas** [DE/DE]; Pohlweg 34, 33098 Paderborn (DE). **BIERHOFF, Thomas** [DE/DE]; Lütersheimer Str. 22, 34471 Volkmarshausen (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/03962
- (22) Internationales Anmeldedatum: 17. Oktober 2001 (17.10.2001)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 100 51 405.7 17. Oktober 2000 (17.10.2000) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: RAY PROPAGATION IN HIGHLY MULTIMODAL CHANNEL WAVEGUIDES

(54) Bezeichnung: STRAHLAUSBREITUNG IN HOCH MULTIMODALEN KANALWELLENLEITERN



WO 02/033455 A3

(57) Abstract: The invention relates to a method for computationally determining optical properties of a channel waveguide, according to which, for an incident ray entering an entrance surface, the distribution of intensity over an emergence surface is determined by adjoined partial rays that possibly split up. From an incident partial ray striking the outer surface, a predetermined algorithm determines a reflected main ray and, in so far as it is necessary according to the ensuing course of events, determines a number of scattered rays of a higher order, which depict partial rays and are recursively traced further. Each partial ray is either a primary ray or a secondary ray. When the incident partial ray is a primary ray, the reflected main ray is a primary ray once again, and the scattered rays are secondary rays. During the reflection of a secondary ray, only the reflected main ray is considered as the secondary ray.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten JP, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

(88) Veröffentlichungsdatum des internationalen Recherchenberichts:

13. Februar 2003

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht

---

**(57) Zusammenfassung:** Verfahren zur rechnerischen Bestimmung optischer Eigenschaften eines Kanalwellenleiters, bei dem für einen in eine Eintrittsfläche einfallenden Strahl die Intensitätsverteilung über eine Austrittsfläche durch aneinander anschließende, sich möglicherweise aufteilende Teilstrahlen bestimmt wird. Aus einem auf die Mantelfläche fallenden Teilstrahl wird durch einen vorgegebenen Algorithmus ein reflektierter Hauptstrahl und, sofern nach dem folgenden Ablauf erforderlich, eine Anzahl von Streustrahlen höherer Ordnung bestimmt, die ihrerseits Teilstrahlen darstellen und rekursiv weiterverfolgt werden. Jeder Teilstrahl ist entweder ein Primärstrahl oder ein Sekundärstrahl. Wenn der einfallende Teilstrahl ein Primärstrahl ist, ist der reflektierte Hauptstrahl wieder ein Primärstrahl und die Streustrahlen sind Sekundärstrahlen. Bei der Reflexion eines Sekundärstrahls wird nur der reflektierte Hauptstrahl als Sekundärstrahl berücksichtigt.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE 01/03962

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G02B6/10 H04B10/13

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G02B H04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>BIERHOFF T ET AL: "RAY TRACING TECHNIQUE AND ITS VERIFICATION FOR THE ANALYSIS OF HIGHLY MULTIMODE OPTICAL WAVEGUIDES WITH ROUGH SURFACES"          IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, IEEE INC.          NEW YORK, US,          vol. 5, PART 1, no. 37,          4 June 2000 (2000-06-04), pages 3307-3310,          XP001089831          ISSN: 0018-9464          abstract          page 3307, right-hand column, paragraph 2          - paragraph 3</p> <p>---</p> <p style="text-align: center;">-/--</p>	1

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 July 2002

Date of mailing of the international search report

26/07/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hylla, W

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 01/03962

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	BIERHOFF T, ET AL.: "An Approach to Model Wave Propagation in Highly Multimodal Optical Waveguides with Rough Surfaces" PROCEEDINGS OF THE X. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THEORETICAL ELECTRICAL ENGINEERING, 1999, pages 515-520, XP008005522 Magdeburg, DE * page 516, item 2:"Ray Tracing" * -----	1
A	HIMMLER A ET AL: "MODELING OF HIGHLY MULTIMODAL OPTICAL INTERCONNECTS FOR TIME DOMAIN ANALYSIS" DIGEST IEEE/LEOS SUMMER TOPICAL MEETINGS, XX, XX, 24 July 2000 (2000-07-24), pages 43-44, XP001089830 the whole document -----	1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

I	nationales Aktenzeichen ru/DE 01/03962
---	-------------------------------------------

**A. KLASSEFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
**IPK 7 G02B6/10 H04B10/13**

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
**IPK 7 G02B H04B**

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

**WPI Data, PAJ, EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB**

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
<b>A</b>	<p>BIERHOFF T ET AL: "RAY TRACING TECHNIQUE AND ITS VERIFICATION FOR THE ANALYSIS OF HIGHLY MULTIMODE OPTICAL WAVEGUIDES WITH ROUGH SURFACES"          IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, IEEE INC.          NEW YORK, US.          Bd. 5, PART 1, Nr. 37,          4. Juni 2000 (2000-06-04), Seiten          3307-3310, XP001089831          ISSN: 0018-9464          Zusammenfassung          Seite 3307, rechte Spalte, Absatz 2 -          Absatz 3          ---</p>	<b>1</b>

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- \*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- \*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- \*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- \*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18. Juli 2002

26/07/2002

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bewillmächtigter Bediensteter

Hylla, W

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/DE 01/03962
-------------------------------------------------

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Beiracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>BIERHOFF T, ET AL.: "An Approach to Model Wave Propagation in Highly Multimodal Optical Waveguides with Rough Surfaces"          PROCEEDINGS OF THE X. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THEORETICAL ELECTRICAL ENGINEERING,          1999, Seiten 515-520, XP008005522          Magdeburg, DE          * page 516, item 2:"Ray Tracing" *</p> <p>-----</p> <p>HIMMLER A ET AL: "MODELING OF HIGHLY MULTIMODAL OPTICAL INTERCONNECTS FOR TIME DOMAIN ANALYSIS"          DIGEST IEEE/LEOS SUMMER TOPICAL MEETINGS,          XX. XX.          24. Juli 2000 (2000-07-24), Seiten 43-44,          XP001089830          das ganze Dokument</p> <p>-----</p>	1
A		1